

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja Maateaduste Instituut
Geograafia osakond

Jüri Kamenik

**ÄIKESESADEMETE AJALIS-RUUMILINE JAOTUS JA
PIKAAJALINE MUUTLIKKUS EESTIS PERIOODIL 1950-
2005**

Bakalaureusetöö loodusgeograafia erialal

Juhendaja: Sven-Erik Enno

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Instituudi juhataja:

Tartu 2013

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Sademete ja äikese seoste uuringud maailmas	4
3. Sademete ja äikese uuringud Eestis	8
4. Andmed ja metoodika	14
4.1 Kasutatud andmed	14
4.2 Metoodika.....	15
5. Tulemused ja diskussioon	16
5.1 Äikesesademete ruumiline jaotus Eestis perioodil 1991-2003	16
5.2 Äikesesademete sesoonne jaotus Eestis perioodil 1991-2003	19
5.3 Äikesesademete pikaajaline muutlikkus Eestis 1950-2005.....	24
6. Kokkuvõte	27
Summary	28
Tänuavaldus	29
Kasutatud allikad.....	30

1. Sissejuhatus

Sademetel on nii inimestele kui loodusele suur tähtsus. Tugevad sademed võivad põhjustada üleujutusi ja suurt majanduslikku kahju. Tugevad sademed on tihti seotud konvektsiooni tõttu tekkinud pilvede ja äikesega, sest viimane areneb samuti tõusvates õhuvooludes (AMS Glossary).

Äikese ja sademete vahelise seose puhul on väga olulised atmosfääritingimused. Näiteks äikese arenguprotsess sõltub oluliselt temperatuurist ja selle jaotusest pilvedes. Äikesepilvele on iseloomulik kolmeetapiline elutsükkel, mis jaguneb kasvu-, küpsus- ja hajumisstaadiumiks. Kasvustaadiumis tekivad peamiselt pilvesisesed välgud ja sademeid on minimaalselt. Küpsustaadiumis on nii pilvesiseseid kui pilv-maa tüüpi välkusid ning langeb põhiosa sademetest. Hajumisstaadiumis suureneb pilv-maa tüüpi välkude osakaal ja väheneb sademete hulk (Cheze ja Sauvageot, 1997). Välkude ja sademete hulk sõltub vertikaalsest õhu liikumisest pilvedes. Kui see on keskmiselt 6-7 m/s või väiksem, siis on välkude teke vähetõenäoline sõltumata pilvede paksusest (Pineda et al., 2007).

Äikese ja sademete vahelisi seoseid on põhjalikult uuritud näiteks USA-s (Changnon, 2001) ja Poolas (Bielec, 2001; Bielec-Bakowska ja Lupikasza, 2009). On näidatud, et ohtlikult tugevad sajud on enamasti seotud äikesega. Eestis ei ole varem äikese ja sademete vahelisi seoseid uuritud, seega on tegu esimese omataolise tööga.

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida sademete ja äikese vahelisi seoseid Eestis. Perioodi 1991-2003 kohta on peaeesmärgiks uurida äikesesademete territoriaalset jaotust. Seda nii äikesepäevade sademete summade kui ka äikesega kaasnenum sajuhulkade suhtena kuude, aastaegade ja aastate sademete koguhulka. Perioodi 1950-2005 kohta on eesmärgiks analüüsida äikesesademete pikaajalist muutlikkust.

Töös kasutatav andmestik saadi Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudist (EMHI). Kasutati andmeid äikese esinemise kohta ning sademete ööpäevasummasid. Lühema uurimisperioodi 1991-2003 kohta olid digitaalsel kujul olemas 23 vaatlusjaama andmed, mida kõiki ka käesolevas töös kasutati. Pikaajaliste muutuste analüüsiks oli võimalik kasutada vaid viie jaama, Vilsandi, Pärnu, Tallinna, Tartu ja Võru andmeid. Teiste jaamade kohta digitaliseeritud andmed enne aastat 1991 puuduvad.

Andmetöötlus viidi läbi *MS Excelis*, kaartide koostamiseks kasutati tarkvara *ArcGIS*.

Töö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimesed kaks annavad ülevaate antud valdkonna uurimisest vastavalt välismaal ja Eestis. Kolmas peatükk kirjeldab kasutatud andmestikku ja metoodikat ning neljas sisaldab tulemusi ja diskussiooni.

2. Äikesesademetes uuringud maailmas

Uurimustes äikese ja sademete vahelistest seostest on peaaesmärgiks leida, kui palju sademeid (vett) langeb pilvedest keskmiselt välgulöögi kohta. Sademete hulk saadakse kas maapealsetest vaatlusjaamadest või radarihindangutest, mida kasutatakse rohkem. Vastavate seoste leidmiseks kasutatakse peamiselt kahte meetodit. Esimesel juhul võetakse kas pilv-maa välkude või pilvesiseste ja pilv-maa välkude koguarv ning leitakse, kui palju langeb äikesetormist keskmiselt vett ühe välgu kohta. Sel juhul kasutatakse ühikut kg/fl ehk kilogrammi vett välgu kohta. Teine meetod seisneb selles, et uuritakse seda, kui palju sajab keskmiselt äikesepäeva või äikesetunni kohta. Levinumaks meetodiks on veehulga leidmine välgu kohta. Sealjuures on enamasti on arvesse võetud pilv-maa välkude arv, kuid viimastel aastatel ka kogu äikesega seotud välkude arv (Soula, 2009). Rohkem on selliseid uurimusi Põhja-Ameerika ja Austraalia kohta, aga neid on tehtud ka Euroopas, näiteks Prantsusmaal (Soula ja Chauzy, 2000) ja Hispaanias (Pineda et al., 2006).

Esimesed äikese ja sademete vaheliste seoste uuringud viidi läbi 1965. aastal USA-s, kui uuriti 52 äikesetormi kuue suve jooksul Lõuna-Arizona kohal. Tolles uurimuses leiti vastavaks vee-välgu suhteks $0,3-300 \cdot 10^7$ kg/fl. Keskmise väärtus oli $3 \cdot 10^7$ kg/fl, mis läheb hilisemates uurimustes leituga üpris hästi kokku. Näiteks 1978. a uurimuses Illinoisi kohta saadi sama tulemus (Soula, 2009). 1990. aastal tehtud uurimuses, kus käsitleti 21 äikesetormi Tennessee Valley kohal, saadi keskmiseks tulemuseks sarnane väärtus, $4 \cdot 10^7$ kg/fl, kuid äärmusväärtused olid $0,9-20 \cdot 10^7$ kg/fl (Soula, 2009). Kesk-Floridas 1982. aastal tehtud uurimuses uuriti üht suurt ja üht väiksemat äikesetormi ning väärtuseks saadi vastavalt $1,8 \cdot 10^7$ kg/fl ja $2,2 \cdot 10^7$ kg/fl (Soula, 2009; Piepgrass, Krider ja Moore, 1982). Nendeski uurimustes arvestati pilv-maa välkusid ning sademed saadi sademetemõõtjate maapealsest võrgustikust. USA-s uuriti 1998. aastal tekkinud äikesetorme suuremal maa-alal ning leiti, et sademete kogused välgu kohta on kuivema (mandrilisema) kliimaga aladel väiksemad kui niiskema kliimaga aladel (Soula, 2009).

Suurem varieeruvus ilmnes Darwini ümbruses Põhja-Austraalias uuritud äikesetormide puhul. Sealne ala jääb mussoonide piirkonda. Ühes 1992. aasta uurimuses eristati mussoonne ja mandriline troopiline konvektsiooni režiim. Mandrilise režiimi puhul olid väärtused vahemikus $9-100 \cdot 10^7$ kg/fl, aga mussoonide puhul $200-3000 \cdot 10^7$ kg/fl. Ka hiljem tehtud uurimustes on mussoonidega seotud äikesetormides leitud märksa suuremad sademete väärtused (Soula, 2009).

On uuritud ka korrelatiivset seost välkude hulga ja sajukoguste vahel. Sheridan et al. (1997) võtsid vaatluse alla Texase, Oklahoma, Kansase, Nebraska ja Louisiana osariigid ning leidsid oma uurimuses, et pilv-maa tüüpi välkude ja sajuhulga vahel küll on põhimõtteliselt positiivne korrelatsioon, kuid selle tugevus on üpris muutlik ning sõltub nii konkreetsetst piirkonnas kui kuupäevast. Siiski üldiselt korrelatsioon suureneb Mehhiko lähelt sisemaa ja põhja suunas (Sheridan et al., 1997).

Uurimusi, kus on arvestatud ka pilvesiseseid välkusid, on enam avaldatud viimastel aastatel. Üks esimesi selliseid uurimusi teostati 1982. aastal Kesk-Florida kohta, kus käsitleti kahte äikesetormi. Väärtusteks saadi $0,67-0,85 \cdot 10^7$ kg vett välgu kohta (Piepgrass, Krider ja Moore, 1982). 1996. aastal uuriti Prantsusmaal 60 rünsajupilve-elementi, milles oli äikest, kusjuures arvestati samuti nii pilvesiseseid kui pilv-maa välkusid. Vastavaks suhteks saadi $0,1-1 \cdot 10^7$ kg/fl. Paaris hilisemas töös kinnitati leitud (Soula, 2009).

Takayabu (2006) hindas satelliitide abil sademete-välgu suhet globaalselt. Ta leidis väärtuseks $196 \cdot 10^7$ kg/fl. Ookeani kohta leitud väärtus on suurusjärgu võrra väiksem kui leidsid Petersen ja Rutledge (1998). Põhjuseid võib-olla kaks: esiteks uurisid viimased ookeani soojade piirkondadel kohal tekkinud äikesetorme, kuid Takayabu võttis arvesse kogu troopika ja teiseks arvestasid Petersen ja Rutledge ainult pilv-maa välkusid, kuid Takayabu võttis arvesse kõik välgud (Soula, 2009).

Veel on uuritud, millised on veekogused välkude kohta erinevate konvektsioonirežiimide korral. Vee-välgu suhted on sõltuvalt konvektsioonirežiimidest erinevad, sest välkude produktsioon rünsajupilvedes on seotud laiuskraadiga ja aluspinnaga, mille temperatuurirežiim omakorda mõjutab konvektsiooni tugevust ja pilvede jäätumist. Seega vee-välgu suhet mõjutavad kliimatilised parameetrid (Cheze ja Sauvageot, 1997).

Konvektsioonirežiime on eristatud kolm: kontinentaalne ehk mandriline, mereline (ookeanitüüpi) ja üleminekutüüpi, mis on iseloomulik niiskele mussoonile (Soula, 2009). Näiteks Petersen ja Rutledge (1998) leidsid oma uurimuses, et troopilise Vaikse ookeani lääneosa kohal oli sademete ja välgu suhe suurusjärgus 10^{10} kg/fl, mis on mandri kohal leitud väärtustest ligi kaks suurusjärku suurem. Selle põhjuseks on nn ookeani-tüüpi konvektsioonipilved, milles ei ole tõusvad õhuvoolud nii tugevad, kui maismaa kohal ja välkude arv on seetõttu samuti väiksem, kuid sademeid langeb väga rikkalikult. Kuivadel aladel (kõrbelistel ja poolkõrbelistel aladel) on vastav väärtus seevastu märksa väiksem, peapõhjuseks on sademete teke jääkristalliprotsessis, millega kaasneb ka välkude teke. Lisandub maa poole langevate sademete aurustumine kuivas õhus (Petersen ja Rutledge,

1998). Euroopas on samuti tehtud uurimusi näiteks Vahemere piirkonna kohta, kus on tõestatud, et äikeseaktiivsus, välkude tüüp ja vee-välgu suhe sõltub aluspinnast (Pineda et al., 2007).

Teine levinud meetod on uurida äikese- ja sademete seoseid kuupäevade kaupa. Leitakse, kui palju sajab äikesega ja äikeseta päevadel ning milline on nende sajuhulkade suhe. Edasi on võimalik arvutada äikesesademetes osakaal sademete kogusummast. Näiteks Changnon (2001) uuris äikesega seotud sademeid USA-s. Ta leidis, et suurim äikesega kaasnevate sademete osakaal on kesklääne lõunaosas, kus see ulatub 70%-ni aasta sademete summast. Kõige madalam on see USA kirdeosas, kuni 20% ja läänerannikul, kuni 10%. USA-s keskmiselt moodustavad äikesesademed 47% aasta sajuhulgast, mis näitab nende suurt osakaalu ja tähtsust aastases sademete koguhulgas. Uuriti ka aastase äikesesademetes hulga seost aastase sademete koguhulgaga. Korrelatsioon ulatus enamasti 0,7-0,9-ni, mis näitab, et äikesesademetega saab seletata suuremat osa kogu aastase sajuhulga muutlikkusest (Changnon, 2001).

Töös uuriti ka aastaaegade kaupa äikesega seotud sademeid. Suurem osa äikestest ja nendega seotud sademetest leiab aset suvekuudel. Vaid Vaikse ookeani rannikualadel tipneb äikese ja äikesesademetes hooaeg sügisel ning talvel. Suve jooksul tuleb äikesesademeid kõige rohkem Floridas (350-450 mm) ja Missouri osariigi piirkonnas (250-300 mm). Oluliseks äikesesademetes põhjuseks USA kesklääne osariikides on konvektiivkompleksid ja nendega seotud öine äikeseaktiivsus. Suurel osal sellest alast on äikesesademetes osakaal kuni 80% kõikidest suvistest sademetest. Kõige väiksem on äikesesademetes osakaal suvel Vaikse ookeaniga piirnevatel aladel. USA läänepoolses osas on äikesesademeid enamasti alla 100 mm aastas (Changnon, 2001).

Zipster (1994) avaldas uurimuse mitme paiga kohta üle maailma, kus kasutas ühikuna sajuhulga-äikesepäevade suhet ehk sajuhulka (mm) äikesepäeva kohta. Ta leidis, et näiteks Põhja-Austraalias on suhe väiksem mandrilise konvektsiooni režiimi korral, ent seevastu kõrgem mussoonidega seotud või ookeani kohal tekkinud äikesetormide puhul.

Euroopas on samuti teostatud sarnaseid uurimusi. Bielec (2001) uuris äikesepäevade arvu ja nende seost sademetega Krakówis perioodil 1896-1995. Uuritud perioodi jooksul kõikus seal aasta äikesepäevade arv 9 ja 37 vahel.

Töös jagati äikesepäevad sajuhulkade klassidesse: ei sadanud või sadas vähem kui 0,1 mm, sadas 0,1-10,0 mm, sadas 10,1-20,0 mm, sadas 20,1-30,0 mm ja sadas üle 30 mm. Uurimuse käigus selgitati välja, et enamusel äikesepäevadest sadas rohkem kui 0,1 mm. Sellised päevad moodustasid äikesepäevade üldarvust 90,2%. Kõige rohkem (67,2% üldarvust) oli selliseid

äikesepäevi, kui sademeid registreeriti 0,1-10 mm. Äikesepäevi, kui sajab üle 60 mm, tuleb ette keskmiselt kord kümnendis (Bielec, 2001). Uurimuses rõhutatakse, et kindlasti ei ole kõik äikesepäevade sademed äikesega seotud, kuid siiski väga suured sajuhulgad on pigem põhjustatud äikesest.

Kui uuriti seda, kuidas on aastate jooksul muutunud teatud klassi kuuluvate sajuhulkadega äikesepäevade sagedus, siis selgus, et varasemast rohkem on neid äikesepäevi, kui sajab 10,1-20,0 mm. Suuremate sajukogustega päevade hulk on vähenenud, sest selliseid päevi oli rohkem 19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses (Bielec, 2001).

Uuriti ka seda, kui paljudel sajupäevadel täheldati äikest. Keskmiselt on äikest 25,7% aasta sajupäevadest (Bielec, 2001). Selge trend puudub, kuid on aastaid, mil äikesega sajupäevi on suhteliselt rohkem või vähem, neist silmatorkavam miinimum esines 1950-ndatel. Äikesega sajupäevi on võrreldes talvega suvel märgatavalt rohkem.

Bielec-Bakowska ja Lupikasz (2009) uurisid Poolas perioodi 1951-2000 äikesepäevade ning sajupäevade seost ja selle muutlikkust. Sademeid registreeriti 85,1% äikesepäevadest, kusjuures 63,5% sademetega äikesejuhtudest olid sajuhulgad vähesed või mõõdukad (0,1-10,0 mm). Kõige vähem tuli ette sajukoguseid üle 30 mm ja sedagi peamiselt mäestikes keskmiselt alla ühe juhu aastas. Kõige sagedamini kaasnevad äikesega sademed mäestike ja rannikulähedastes piirkondades. Märkimisväärsed sajukogused (üle 10 mm) tuleb ette kõige sagedamini Poola loodeosas. Samuti selgus, et kõige rohkem sajupäevi koos äikesega on suvel, sest siis on ka äikest kõige rohkem.

Selgus, et sademeteta äikesepäevade hulk on perioodi jooksul veidi vähenenud, kuid statistiliselt oluline trend on ainult Kesk- ja Põhja-Poolas. Statistiliselt oluline kasvav trend leiti selliste äikesepäevade kohta, kui sadas 0,1-10,0 mm, aga sedagi vaid Kagu-Poola kohta (Bielec-Bakowska ja Lupikasz, 2009). Nõrgalt on kasvanud nende äikesepäevade hulk, kui sadas rohkem kui 30 mm. Kasvav trend on täheldatav 1990-ndate aastateni, kuid statistiliselt oluline pole see üheski piirkonnas. Kokkuvõtlikult selgus, et üldiselt ei ole sademetega äikesepäevade arv Poolas perioodi jooksul statistiliselt oluliselt muutunud (Bielec-Bakowska ja Lupikasz, 2009).

Uurimuses selgitati välja, kui tugev seos on sajupäevade ja äikesega sajupäevade muutlikkuse vahel. Kõige nõrgem seos on leiti selliste päevade vahel, kui sadas 0,1-10,0 mm, sest sellise sajukogusega päevi, kui äikest ei ole, on väga tihti. Mida suurem on antud päevade sajukogused, seda tugevam on nende seos äikesepäevadega. Suurim seos leiti äikesepäevade ja nende sademetepäevade vahel, kui sadas üle 30 mm, sest äikest tuli ette keskmiselt 49% sellise sajukogusega päevadest (Bielec-Bakowska ja Lupikasz, 2009).

3. Sademete ja äikese uuringud Eestis

Eesti jääb merelise ja mandrilise kliima üleminekualale, kusjuures olulised kliima mõjutajad on Atlandi ookeani põhjaosa, Skandinaavia mäestik, Läänemeri ja Ida-Euroopa lausmaa. Kliima on suhteliselt niiske, kuid ette võib tulla nii põua- kui ka liigsademetega perioode. Eestis ei ole varem uuritud äikese- ja sademetevahelisi seoseid, kuid on tehtud mõningaid uurimusi sademete ja äikese kohta eraldi.

Jaagus ja Tarand (1998) on uurinud Eesti sademete territoriaalset jaotust. Töös võeti vaatluse alla 62 mõõtmispunkti andmed alates 1920. aastast ning sademete hulka mõjutavad tegurid, et välja selgitada sademete jaotuse seaduspärasused ja selle põhjused Eestis.

Kõige olulisemaks sademete hulka määravaks teguriks on tsüklonaalne tegevus. Tsüklonitega seotud sajualad on Eestiga võrreldava suurusega, mistõttu riigi erinevates osades võib sajuhulk konkreetse tsükloni puhul märgatavalt erineda. Tsükloniga seatud raamides mõjutab sademete hulka ja jaotust aluspind, mille mõju seisneb õhu tõusu soodustamises või muudetud turbulentsis. Aluspinnaga seotud teguriteks on pinnamood, näiteks kõrgustikud, metsasus ja linnad, samuti veekogud ning kaugus nendest. Kõik nimetatud tegurid võtsid Jaagus ja Tarand (1998) oma töös arvesse. Lisaks arvestati ka kaugust merest kirde suunas, sest õhuvoolud on aasta keskmiselt suunatud Eestis edelast kirdesse. Kõiki neid tegureid kasutati maastikuliste paranditena, et sademete territoriaalset jaotust võimalikult hästi välja selgitada ning seletada.

Sademetega territoriaalse jaotuse kaartidelt selgus (perioodi 1966-1985 kohta), et Eesti aastane keskmine sademete hulk on 600-700 mm. Vähem, 600 mm ringis sajab eelkõige mere kohal, aga ka Peipsil ja selle rannikualadel. Olulisim sademete maksimumi piirkond jääb Sakala kõrgustikule, kus sajab keskmiselt kuni 750 mm aastas ning maksimum ulatub võõndina Loode-Eestini. Ka Pandivere ja Haanja kõrgustikul sajab rohkem kui ümbritsevatel aladel, kuni 700 mm (Jaagus ja Tarand, 1998).

Tammets ja Jaagus (2007) uurisid äärmuslikult kuivade ja sajaste päevade esinemissageduse territoriaalset jaotust Eestis perioodil 1957-2006. Töös uuriti 50 aasta pikkust perioodi 54 vaatluskoha andmete alusel. Nii sademetepuuduse kui ka liigsademetega päevade leidmisel kasutati ööpäeva summade libisevaid keskmisi. Defineerimisel lähtuti agrometeoroloogilistest kaalutlustest. Sademetepuudusega päevi loeti alates 20-päevase sademeteta perioodi viimasest päevast. Liigsademetega perioode arvestati alates 10-päevase perioodi viimasest päevast juhul, kui selle perioodi libisev keskmine sademete hulk oli vähemalt 10 mm (Tammets ja Jaagus, 2007).

Töö tulemusena leiti, et seatud kriteeriumide alusel on liigsademetega päevi ainult suvel ja sügisel, kusjuures kõige rohkem juulis ja augustis, mõlemal kuul keskmiselt 37% kõigist liigsademetega päevadest. Põuaperioodi, kui selleks lugeda 20-päevast või pikemat sademeteta aega, võib-olla igas kuus, kuid kõige enam on neid mais ja augustis (vastavalt 17 ja 22% aastasest sademetepuudusega päevade arvust). Uuritud 50-aastase perioodi jooksul on ekstreemsete päevade arv ja selle varieeruvus märkimisväärselt tõusnud (Tammets ja Jaagus, 2007).

Uuriti ka ekstreemsete perioodide varieerumist Eesti piires. Sademetepuudusega päevade hulga erinevused on mitmekordsed, kusjuures põuaehtlikumad on Lääne-Eesti ja saared, eriti kevadel ning suve alguses. Selle põhjuseks on jahe meri, mis põhjustab stabiilset õhu kihistust ega soodusta õhu vertikaalset liikumist ning sajupilvede arengut. Sisemaal on väiksem põuaht. Uuriti ka maksimaalset põuapäevade arvu. Kõige väiksem on see Kesk-Eestis ja kõige suurem Eesti äärmises kagunurgas, Saaremaa lääneosas ning kohati Põhja-Eestis. Põuased suved olid näiteks 2002. ja 2006. aastal (Tammets ja Jaagus, 2007).

Liigsademetega päevad on põuapäevadega võrreldes vastupidiselt jaotunud – neid on märgatavalt vähem rannikujaamades ja enim Kagu-Eestis. Ka Põhja-Eestis on liigsademetega päevi üsna palju. Kesk-Eestist kuni saarteni jääb väiksema liigsademetete tõenäosusega piirkond, milles nii lõuna kui põhja pool on suvel liigsademetega päevi rohkem. Liigsademetega päevi ei ole tavaliselt suvel üle kümne, väljaarvatud mõnel erandlikul aastal. Liigsajused suved olid näiteks 1978., 1987. ja 2005. aastatel (Tammets ja Jaagus, 2007).

Päädam (2009) uuris kliima soojenemise mõju ekstreemsademetete esinemisele Eestis. Andmetena kasutati EMHI 40 vaatlusjaama aegridu perioodi 1961-2005 kohta. Ekstreemsademed defineeriti mõõtmistulemuste kvantiilidena, näiteks väga sajuseks päevaks loeti 0,95 ja paduvihmaks 0,99 kvantiili. Kuna igal jaamal on vastav lävend tegelikult erinev, siis arvutati kvantiilid igale jaamale eraldi nii aastate kui aastaegade lõikes. Lisaks kasutati Jaaguse ja Tarandi (1998) sademeterajoneeringut.

Töö tulemusena leiti, et väga sajuste päevade ja paduvihmade hulk on vaadeldaval perioodil suurenenud, kusjuures statistiliselt olulisi trende on enim talvel. Samas väga sajuste päevade keskmine sajuhulk on kõikidel aastaegadel tõusnud peaaegu võrdselt (3,3%). Paduvihmade sajuhulk on suvel kasvanud aga 8,2% ja talvel 4,8% (Päädam, 2009).

Jaagus (1992) uuris sademete perioodilisust Eestis. Uurimuses kasutati kõiki vaatluspunktide andmeid perioodi 1866-1990 kohta. Töö tulemusena leiti, et sademete hulk on uuritud perioodi vältel kasvanud. Selle põhjuseks on arvatavasti sademete paremad registreerimisvõimalused ning üldine tendents sademete suurenemisele. Eriti märgatav on

sademetekasv olnud talvel, mille põhjuseks on nii uut tüüpi sademetemõõtjate (Tretjakovi) kasutuselevõtt kui ka kliima merelisuse suurenemine. Suvekuudel ei leitud statistiliselt olulist sademete hulga suurenemist (Jaagus, 1992). Spektraalanalüüs näitas, et sademete puhul on jälgitavad kolm erineva pikkusega tsüklit: üldine 25-30aastane perioodilisus; 6-7aastane perioodilisus, mis on iseloomulik eelkõige suvekuudele ja 50-60aastane perioodilisus, mis on iseloomulik eelkõige sügiskuudele (Jaagus, 1992).

Jaagus et al. (2008) uurisid Baltimaades sademeid ja nende seost nii maastikuliste tegurite kui atmosfääri tsirkulatsiooniga. Töös võeti aluseks kuude sademete summad 123 jaamas Eestis, Lätis ja Leedus perioodil 1966-2005. Arvestati 52 maastikuteguri ja 13 tsirkulatsioonimuutujaga.

Uurimuse tulemusena leiti, et sademete jaotuse peamine määraja Baltimaades on Läänemeri. Sellega paralleelselt asuvad erinevad sademetetsoonid, sest Baltimaad jäävad mere suhtes tuulepealsele küljele, nii et aasta keskmiselt on õhuvool merelt sisemaale. Sealjuures asub merest 10-60 km kaugusel nn sademetehari ehk sademeterikkam ala. Teiseks oluliseks sademete hulka ja jaotust mõjutavaks faktoriks leiti olevat aluspinna kõrgus. Seetõttu on kõrgustikel sademeid rohkem (Jaagus et al., 2008).

Sademetekasv uurimine atmosfääri tsirkulatsiooniga näitas, et läänevool on tugevalt positiivses korrelatsioonis eelkõige talve sademete hulgaga, eriti mõõdukal kaugusel merest. Meridionaalse õhuvooluga on sademed vähem seotud (Jaagus et al., 2008).

Uuriti veel sademete ruumilist autokorrelatsiooni ja leiti, et jaamade sademetehulgad ja sadememuster on aastasiseselt sarnane, kuid see oleneb vaadeldavate jaamade omavahelisest kaugusest. Suvisel ajal on korrelatsioon väiksem, sest siis on sademete põhjuseks konvektsioon (rünkajupilved ja äikesesademed), mis on ruumiliselt väga heterogeenne. Samal ajal külmal aastaajal on ruumiline korrelatsioon märksa suuremal alal palju kõrgem, sest siis määravad sademed tsüklonid ja fronidid, mis mõjutavad ulatuslikku ala ja sademete jaotumine on erinevates piirkondades sarnasem (Jaagus et al., 2008).

Äikese esinemise kohta Eestis on varasematel aastakümnetel tehtud mõningaid kokkuvõtteid, mis põhinevad peamiselt äikesepäevade arvudel (Jürgenson et al., 1962; Tallinna Hüdro meteoroloogia Observatoorium, 1969; Jürissaar, 1998). Näiteks on leitud, et kõige äikeserikkam piirkond on Kagu-Eesti (Tallinna Hüdro meteoroloogia Observatoorium, 1969). 1960-ndatel teostatud äikesevaatluste kokkuvõtetest selgus, et lisaks Kagu-Eestile on kõige äikeserohkemaks piirkonnaks ka Pandivere kõrgustik, kus on keskmiselt 20-25 äikesepäeva aastas. Saartel ja rannikualadel oli äikest kuni kaks korda vähem (Ross, 1970). Hilisemal ajal 5-aastase andmerea põhjal (1987-1991) koostatud äikese jaotuse kaardilt selgub samuti, et

võrdselt kõige rohkem äikesepäevi on nii Pandivere kui Haanja kõrgustikul (Jürissaar, 1998). Samas peab arvestama, et perioodi pikkus on antud juhul kliimaatilise analüüsi jaoks liialt lühike.

Uuritud on ka äikese ööpäevast jaotust ning kestust ja leitud perioodi 1981-2006 andmete põhjal, et äike algab enamasti päeva teisel poolel (maksimum kell 18-21 suveaja järgi), kõige harvem aga hommikul (miinimum kell 3-12 suveaja järgi). Äikese algus on kellaajast kõige vähem sõltuv Vilsandil. Üldiselt on leitud, et äikese algus ööpäeva jooksul on seotud sellega, millist tüüpi äikesega on tegemist, sest termilised õhumassisisesed äikesed kujunevad harilikult suvel pärast lõunat, kuid frondiga seotud äikesed ei olene enamasti kellaajast (Tammets, 2008).

Samuti on leitud, et äikeste kestus võib väga suuresti varieeruda. Kuigi tüüpilise kohaliku termilise äikesepilve eluiga on umbes tund, võib tegelik äike kesta palju kauem, sest äikesepilved esinevad sageli kobaratena. Eesti kliimajaamades perioodil 1981-2006 registreeritud äikesed kestsid kõige sagedamini tund aega, kusjuures kõige lühem äike kestis 12 minutit ning kõige pikem 9 tundi ja 40 minutit (Tammets, 2008).

Viimastel aastatel on äikest uuritud nii visuaalselt vaadeldud äikesepäevade hulga kui äikesedetektorite poolt registreeritud välgulöökide põhjal.

Enno (2007) uuris äikese sageduse ajalis-ruumilist muutlikkust Eesti territooriumil. Töös võeti vaatluse alla 11 meteoroloogiajaama andmed kuude ja aastate kohta perioodil 1950-2000. Tartu kohta oli võimalik kasutada pikemat vaatlusrida aastate 1901-2000 kohta.

Leiti, et põhiline äikesehooaeg on Eestis maist septembrini, kui iga kuu pikaajaline keskmine äikesepäevade arv on üle ühe. Kõige äikeserikkam kuu on juuli, kui olenevalt jaamast on keskmiselt 3-7 äikesepäeva. Kõige vähem on äikest detsembrist märtsini, vähem kui kord kümne aasta kohta. Suvekuudel (juuni, juuli ja august) on kuni 75% kõikidest äikesepäevadest, mais ja septembris on kokku kuni 20% äikesepäevadest ning talvekuudel (novembrist märtsini) vaid 0,5% äikesepäevadest (Enno 2007).

Äikese territoriaalse sageduse uurimiseks kasutati 23 jaama andmeid aastate 1991-2003 kohta ning 11 jaama andmeid aastate 1950-2000 kohta. Tulemused näitavad, et äikesepäevade arv kasvab läänest itta, jõudes Lääne-Eesti 12-16 äikesepäevast Ida-Eesti 20-22 äikesepäevani aastas. Perioodil 1950-2000 oli kõige äikeserikkam Kagu-Eesti (Enno, 2007).

Äikesepäevade arvu pikaajalist muutust uuriti perioodi 1950-2000 kohta ning analüüsiti 11 jaama andmeid. Tartu kohta oli võimalik uurida perioodi 1901-2000. Analüüsi tulemusena leiti, et äikesepäevade arv muutub aastast aastasse väga palju. Maksimaalne äikesepäevade arv kuu kohta on olnud 14-15 (sisemaa jaamades suvekuudel). Äikesepäevade arv aasta kohta

võib suuresti erineda: kõige äikesevaesematel aastatel on olenevalt vaatluskohast registreeritud äikest 1-10 päeval ja kõige äikeserikkamatel 26-42 päeval.

Vahemikus 1950-2000 leiti neli äikesevaesemat ja neli äikeserikkamat perioodi. Suurim miinimum jäi 1990-ndate aastate algusesse ning äikeserikkamad perioodid olid näiteks 1950-ndate lõpp, 1970-ndate esimene pool, 1980-ndate keskpaik ja 1990-ndate lõpp. Statilistiselt olulisi trende eriti polnud, kuigi aasta lõikes ilmnes mitmes jaamas langustrend. Tartu 100-aastases aegreas selgus, et 1950-ndad olid sajandi kõige äikeserikkamad aastad, millega saab seletada mitmetes jaamades perioodil 1950-2000 ilmnenu langustrendi (Enno, 2007).

Enno (2009) uuris välgulöökide ajalis-ruumilist jaotust Eesti piirkonnas 2005-2008 andmete alusel. Uurimuses leiti, et pilv-maa löökide tiheduseks on kogu uurimisalal keskmiselt 0,3 lööki/km² aastas, kusjuures äärmusväärtusteks saadi alla 0,1-st kuni 0,8 löögini/km² aastas. Tugev äikesemaksimum oli tüüpiliselt parasvöötmele soojal poolaastal, kui aprillist septembrini registreeriti 99,7% kõikidest välgulöökidest. Sealjuures on umbes pool kõikidest välkudest koondunud mõnele kõige äikeselisemale päevale. Ka välkude kellaajalises jaotus oli selge maksimum, mis jääb pärastlõunasele ajale (kell 15-17) ning miinimum varahommikul (kell 3-6). Mere kohal osutus välkude ööpäevane jaotus märksa ühtlasemaks ja lauge maksimum ilmnes südaöö paiku (Enno, 2009).

Alber (2010) uuris äikeste ajalist kestust, sesoonset ja ööpäevast jaotust Eestis perioodil 1963-2008. Uuriti meteoroloogiajaamade visuaalvaatluste andmestikku. Töö tulemusena leiti, et keskmiselt oli perioodil 1991-2003 Eestis 30-40 tundi äikest aasta kohta. Kõige rohkem, üle 60 äikesetunni, oli Pandivere kõrgustikul ja Kesk-Eestis, kõige vähem, alla 20 tunni, aga Loode-Eestis. Perioodil 1963-2008 oli kuue jaama keskmine 37,1 äikesetundi aasta kohta. Sealjuures oli aastati see arv väga erinev, ulatudes 16,5 tunnist 1976. aastal 76,7 tunnini 1972. aastal. Ka selles uurimuses selgus, et oli vaheldumisi nii äikeserikkaid kui äikesevaeseid perioode. Kuue jaama keskmine äikesetundide arv näitas küll langustrendi, kuid see osutus statistiliselt mitteoluliseks (Alber, 2010).

Perioodil 1963-2008 eristati äikesehooaega ja põhihooaega. Äikesehooaeg tähendab, et ühes kuus oli keskmiselt üle 0,1 tunni äikest ja see kestis aprillist oktoobrini. Põhihooaeg tähendab, et ühes kuus oli keskmiselt üle 1 äikesetunni ning see kestis maist septembrini. Äikeserikkaim kuu oli juuli, järgnesid august ja juuni. Vilsandil oli maksimum augustis, mille põhjuseks võib pidada aeglaselt soojenevat merd (Alber, 2010).

Perioodi 1963-2008 kohta uuriti ka ööpäevast äikesejaotust. Leiti, et maksimum jäi kella 14-18 vahele ja miinimum kella 3-10 vahele. See on heas kooskõlas aluspinna soojenemise ja jahtumisega. Mere mõju ööpäevasele äikesejaotusele uuriti perioodi 1991-2003 kohta,

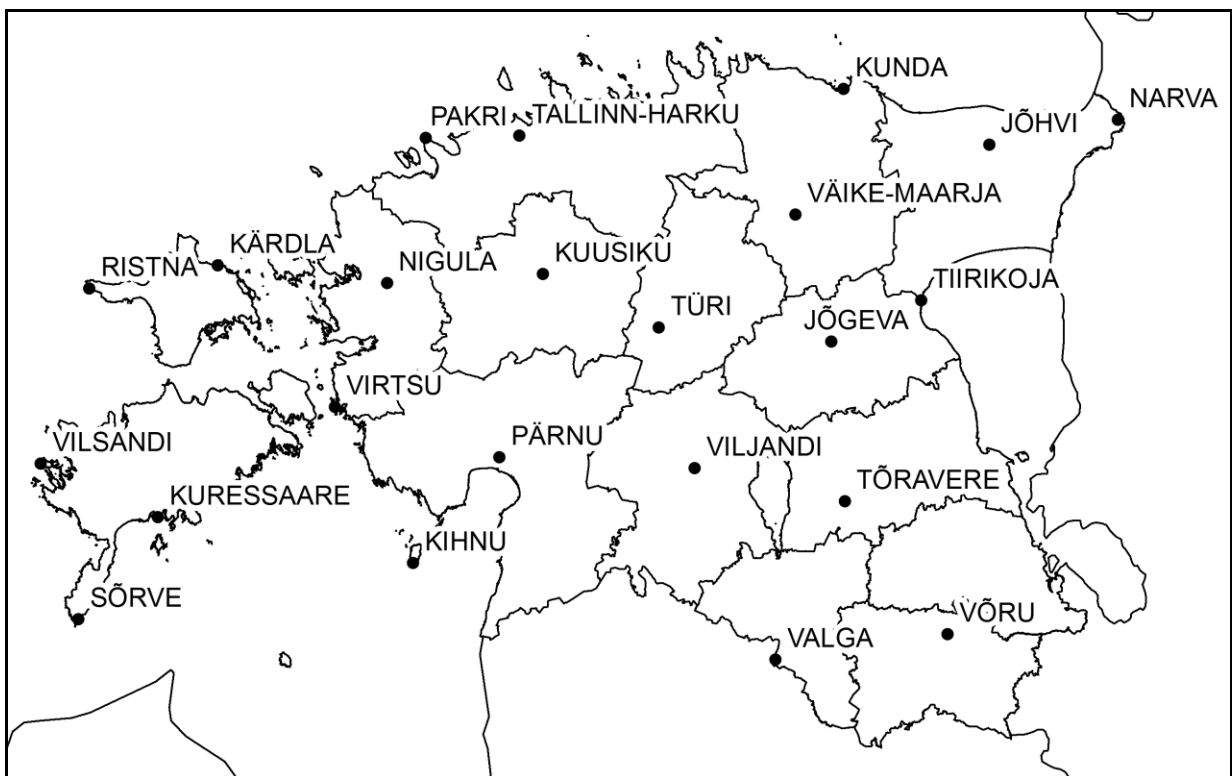
kuusjuures tulemused saadi 21 jaama klasteranalüüsi põhjal. Selgus, et olemas on kaks suurt klassi – esimesse kuuluvad tugeva merelise mõjuga Vilsandi, Sõrve ja Ristna ning ülejäänud jaamad jäävad teise klassi. Nimetatud kolmele merelisele jaamale on iseloomulik öine äikesemaksimum, ülejäänud jaamadele aga selgelt päevane äikesemaksimum (Alber, 2010).

Äikesejuhtumite ajalise kestuse analüüs näitas, et Eestis kestavad äikesed suhteliselt lühikest aega. Perioodil 1963-2008 on kõige sagedasemad 0,5-1 tunnised äikesed. Kuni 1,5 tunniseid äikeseid oli 57% kogu äikesejuhtumite üldarvust. Märkimistvääriv on uuritud perioodi pikim äikesejuhtum, mis kestis 14 tundi ja 18 minutit ning registreeriti Vilsandil 3.-4. mail 2002 (Alber, 2010).

4. Andmed ja metoodika

4.1 Kasutatud andmed

Käesolevas uurimuses kasutati Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) äikesevaatlusandmeid perioodi 1950 – 2005 kohta Pärnu, Tallinna, Tartu-Tõravere, Vilsandi ja Võru vaatlusjaamadest. Lisaks kasutati perioodi 1991 – 2003 kohta äikeseandmeid kokku 23 vaatlusjaamast (joonis 4.1). Mõnede jaamade asukohti on aja jooksul muudetud, sellised on Tallinn (Ülemistest Harkusse 1980), Tartu-Tõravere (Tartust Tõravere 1997) ja Narva (Narvast Narva-Jõesuusse 2001). Antud töös eeldati aegridade homogeensust vaatamata asukoha muutusele, mistõttu eraldi parandeid sisse ei viidud.



Joonis 4.1. Töös kasutatud EMHI vaatlusjaamade asukohad.

Äikesepäevadeks loeti kuupäevad, kui vaatlaja kuulis meteoroloogilise ööpäeva jooksul (kell 18 UTC kuni kell 18 UTC) vaatlusjaamas vähemalt ühte müristamist. Kui ööpäeva jooksul nägi vaatlaja ainult põuavälku (välkudele või nende kumale kuuluvat müristamist ei järgnenud), siis seda meteoroloogilist ööpäeva ei loetud äikesepäevaks.

Äikesepäevade ja sademete seostamiseks kasutati EMHI andmebaasist saadud meteoroloogiajaamades mõõdetud ööpäevaseid sajuhulkasid. Sademete summad on mõõdetud meteoroloogilise ööpäeva lõpus kell 18 UTC ehk kell 20 kohaliku talveaja järgi. Sajuhulgad on mõõdetud millimeetrites.

4.2 Metoodika

Andmete töötlemiseks kasutati *MS Excelit* ning kaartide vormistamiseks tarkvara *ArcGIS*. Algsed sademete- ja äikeseandmed olid *MS Exceli* tabelite kujul.

Kuna sademete esinemist äikesega vaadeldi antud töös kuupäevapõhiselt, toimus esiteks äikeseandmete originaaltabelist kuupäevakorduste eemaldamine. Kuupäevakordused olid tingitud mitme erineva äikesejuhtumise esinemisest osadel äikesepäevadel. Seejärel seati sademete- ja äikeseandmed omavahel vastavusse. Selleks lisati sademete ööpäevasummade tabelisse uus veerg „äikese esinemine” ning tähistati seal kõik äikesega päevad numbriga 1 ja äikeseta päevad numbriga 0. Seejärel oli võimalik arvutatada äikesega päevade ja kõigi päevade sademete summad nii kuude kui aastate lõikes. Nendest arvutati omakorda äikesesademete osatähtsused nii kuude, aastate kui aastaaegade sademete koguhulgast. Lõpuks arvutati perioodi 1991-2003 kohta 23 jaama jaoks nii kuude, aastate kui aastaaegade 13-aastased keskmised sajusummad, äikesega seotud sajuhulgad ning äikesesademete osatähtsused sademete kogusummadest. Viie kliimajaamade kohta tehti vastavad kokkuvõtted ka perioodi 1950-2005 kohta.

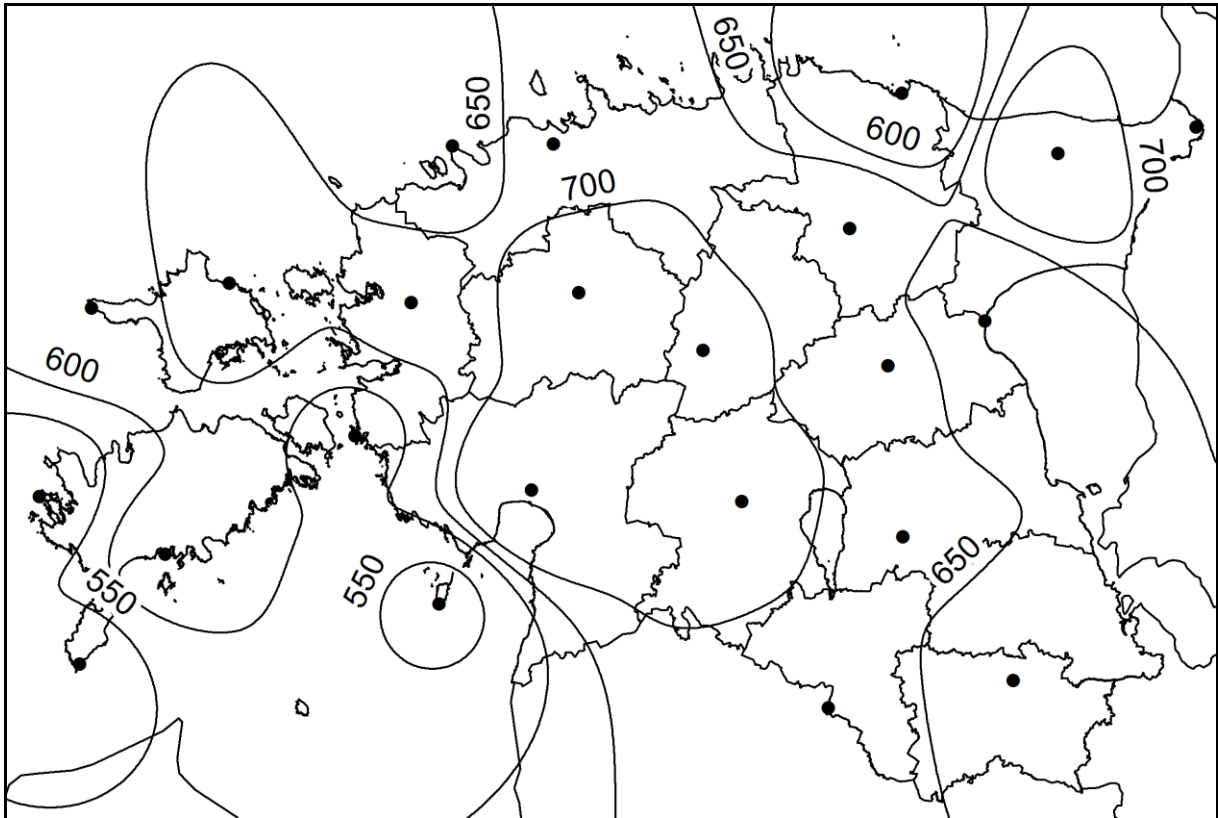
Töödeldud 13-aastase aegrea andmete alusel koostati *ArcGIS*-is ülevaatlikud kaardid, kus kujutati samajoontena aprilli kuni novembri ning kevade (märts-mai), suve (juuni-august), sügise (september-november) ja talve (detsember-veebruari) äikesesademete osatähtsust sademete kogusummast. Samuti koostati aasta keskmiste sajuhulkade kaart ja aasta keskmiste äikesepäevade sademete summade kaart perioodi 1991-2003 kohta.

Lisaks uuriti aastaste äikesepäevade sademete summade ja äikesesademete osatähtsuse pikaajalist muutlikkust perioodil 1950-2005 viies kliimajaamas. Trendide arvutamine ning usaldusväarsuse kontroll $p < 0,05$ tasemel toimus *MS Excelis*.

5. Tulemused ja diskussioon

5.1 Äikesesademetes ruumiline jaotus Eestis perioodil 1991–2003

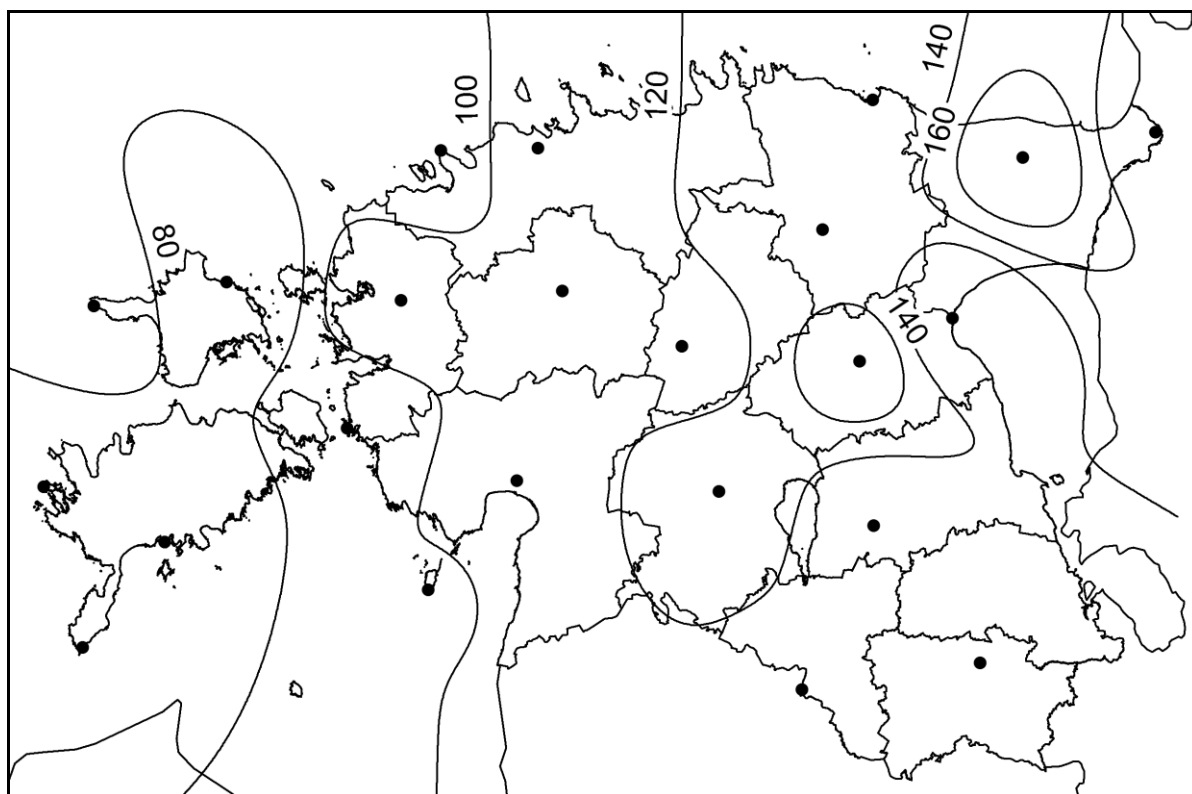
Perioodil 1991–2003 oli 23 jaama andmete alusel Eesti aastane sademete hulk keskmiselt 550–750 mm, kusjuures väiksem oli sajuhulk Lääne-Eestis ja saartel, suurem aga Kirde-Eestis ning Sakala kõrgustikul ja selle ümbrusest kuni Pärnumaa ja Harjumaa lõunaosani välja (joonis 5.1.). See on üldjoontes sarnane varasemate avaldatud (Jaagus ja Tarand, 1998) Eesti sademete jaotustega ja seega on 13-aastane periood vaatamata lühidusele ikkagi sademete põhijaotuse osas piisavalt esinduslik.



Joonis 5.1. Aasta keskmine sademete hulk perioodil 1991–2003.

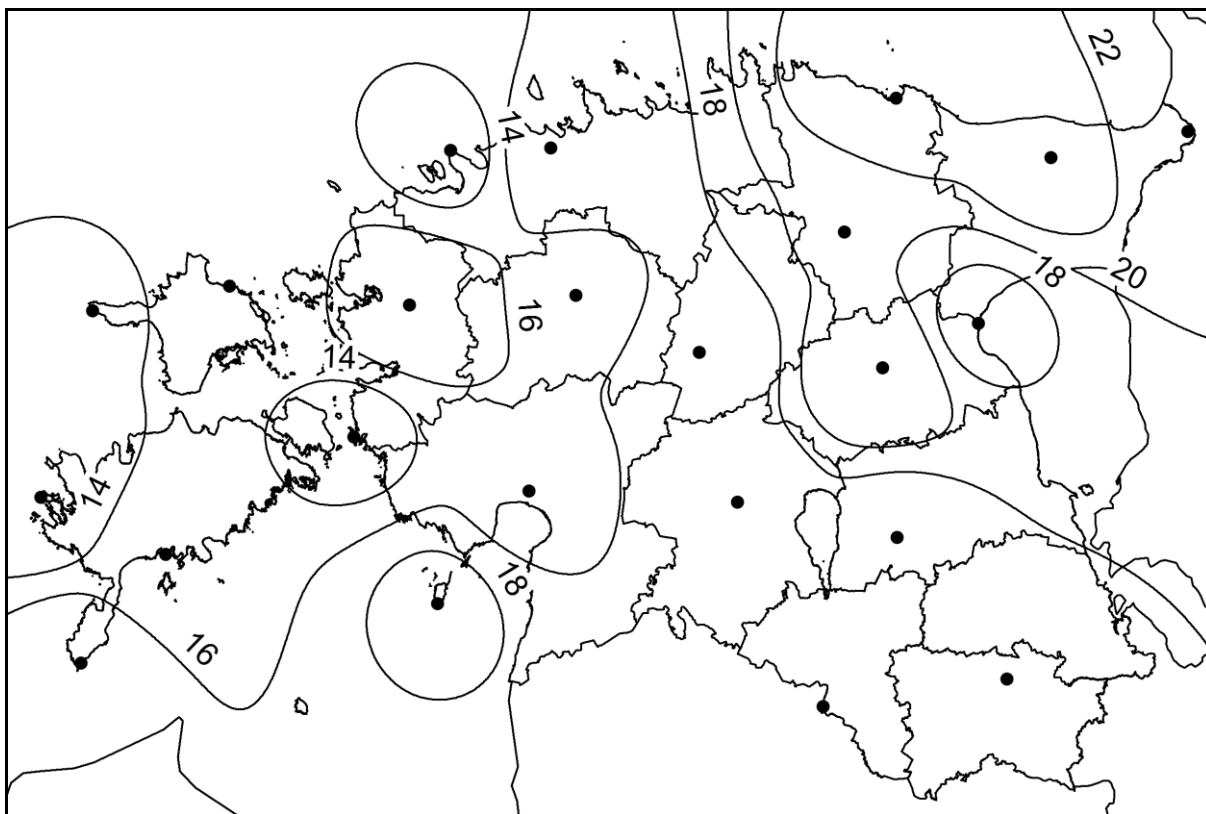
Töö tulemusena selgus, et perioodil 1991–2003 oli aastane äikesepäevade sademete koguhulk keskmiselt 80–160 mm. Äikesepäevade sademete summa suureneb läänest ja edelast ida ning kirde poole liikudes, olles maksimaalne Kirde-Eestis ja Jõgevamaal (joonis 5.2). Äikesesademetes maksimumi piirkond langeb kokku äikesepäevade maksimumiga Kirde-

Eestis samal perioodil (Enno, 2007). Samas ei ühti see äikesetundide arvu maksimumiga (Alber, 2010), mis jääb Pandivere kõrgustikule ja Kesk-Eesti kohale. Ka äikesetundide miinimum Loode-Eestis ei lange täpselt kokku äikesega kaasnevate sademete miinimumiga Saaremaal ja Hiiumaal. Samas on saartel äikest siiski selgelt vähem kui sisemaal.



Joonis 5.2. Äikesepäevadel langenud sademete keskmine aastasumma perioodil 1991–2003.

Aasta keskmine äikesesademetes osatähtsus kogu aasta sajusummast (joonis 5.3) perioodil 1991-2003 oli 14-22%. Miinimumid jäid Saaremaa ja Hiiumaa lääneossa, Lääne-Eesti rannikule ning Loode-Eesti kohale, maksimum aga paiknes Kirde-Eesti rannikualadel. Ka äikesesademetes osatähtsuse maksimumi asukoht on heas kooskõlas Enno (2007) leitud äikesepäevade maksimumiga, kuid ei ühti äikesetundide arvu maksimumiga (Alber, 2010). Äikesesademetes osatähtsuse miinimumid Paldiskis ja Virtsus ning nende vaheline väiksem maksimum Nigulas langevad hästi kokku perioodi 1991-2003 äikesetundide kaardiga (Alber, 2010) ja suhteliselt hea kooskõla on ka vastava perioodi äikesepäevade kaardiga (Enno, 2007). Saaremaa ja Hiiumaa lääneosa madal äikesesademetes osatähtsus langeb aga paremini kokku äikesepäevade kaardiga. Liivi lahe piirkond eristub muust Lääne-Eestist suurema äikesesademetes osatähtsuse poolest ning seal on rohkem registreeritud äikesepäevi (Enno, 2007) ja äikesetunde (Alber, 2010).



Joonis 5.3. Aasta keskmine äikesesademetes osatähtsus kogu aasta sademete summast perioodil 1991–2003.

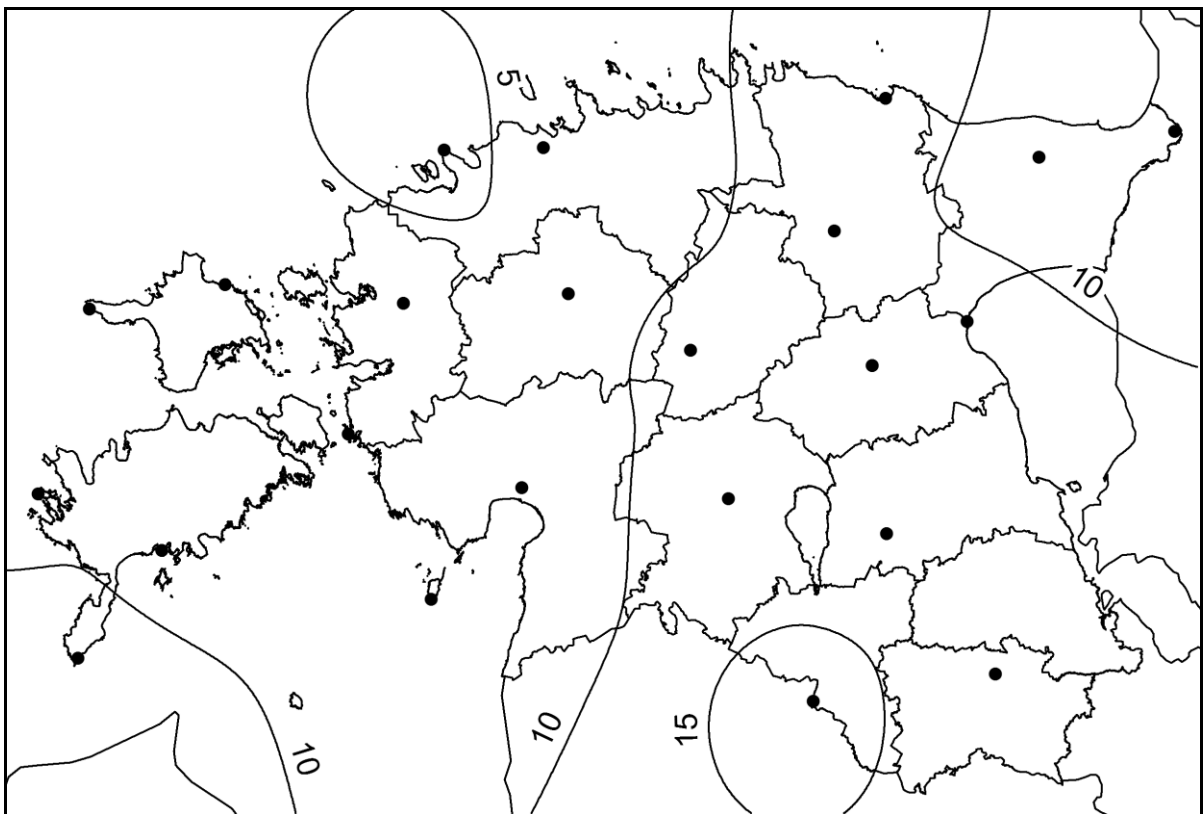
Äikesesademetes maksimum Kirde-Eestis on seletatav Eestis valitseva üldise õhuvooluga edelast või lõunast. Selles kujunevad ja liiguvad konvektsioonipilved jõuavad enne Kirde-Eestisse saabumist sageli muutuda äikesepilvedeks. Viimast soodustab liikumine maismaa kohal ning aluspinna ebatasasused, näiteks Pandivere kõrgustik ja Vooremaa. Laussajupilvede süsteeme võib aga pikk liikumine üle maismaa nõrgendada, mistõttu mittekonvektiivsete sademete osatähtsus võib Kirde-Eestis olla veidi väiksem kui mujal. Kevadel ja suve esimesel poolel lisandub põhjakaarte tuulte korral kindlasti ka jaheda Soome lahe sademete teket mittedoodustav mõju. Nimetatud kolm faktorit seletavad äikesesademetes suhteliselt suuremat osakaalu Kirde-Eestis. Läänesaari ja Loode-Eestit mõjutab jahe meri, mistõttu konvektsioonipilvi on vähem ning äikesesademetes hulga ja osatähtsused madalaimad.

Eestis leitud äikesesademetes aastasummad on palju väiksemad võrreldes USA kesk- ja idaosaga, kus vastav näitaja on 3-4 korda suurem. Võrreldes sealse äikesepäevade sademete osakaaluga aasta sajusummadest (kuni 70%) on Eestis vastavad näitajad samuti üsna madalad. Samas on Eestis äikesega kaasnevad sajuhulgad võrreldavad või isegi suuremad USA lääneosa vastavatest näitajatest (Changnon, 2001). Samuti sarnaneb Eesti äikesesademetes

osakaal aasta sajusummast USA kirdeosa ja läänerannikuga, kus see on vastavalt 20% ning 10% lähedal (Changnon, 2001).

5.2 Äikesesademetes sesoonne jaotus Eestis perioodil 1991–2003

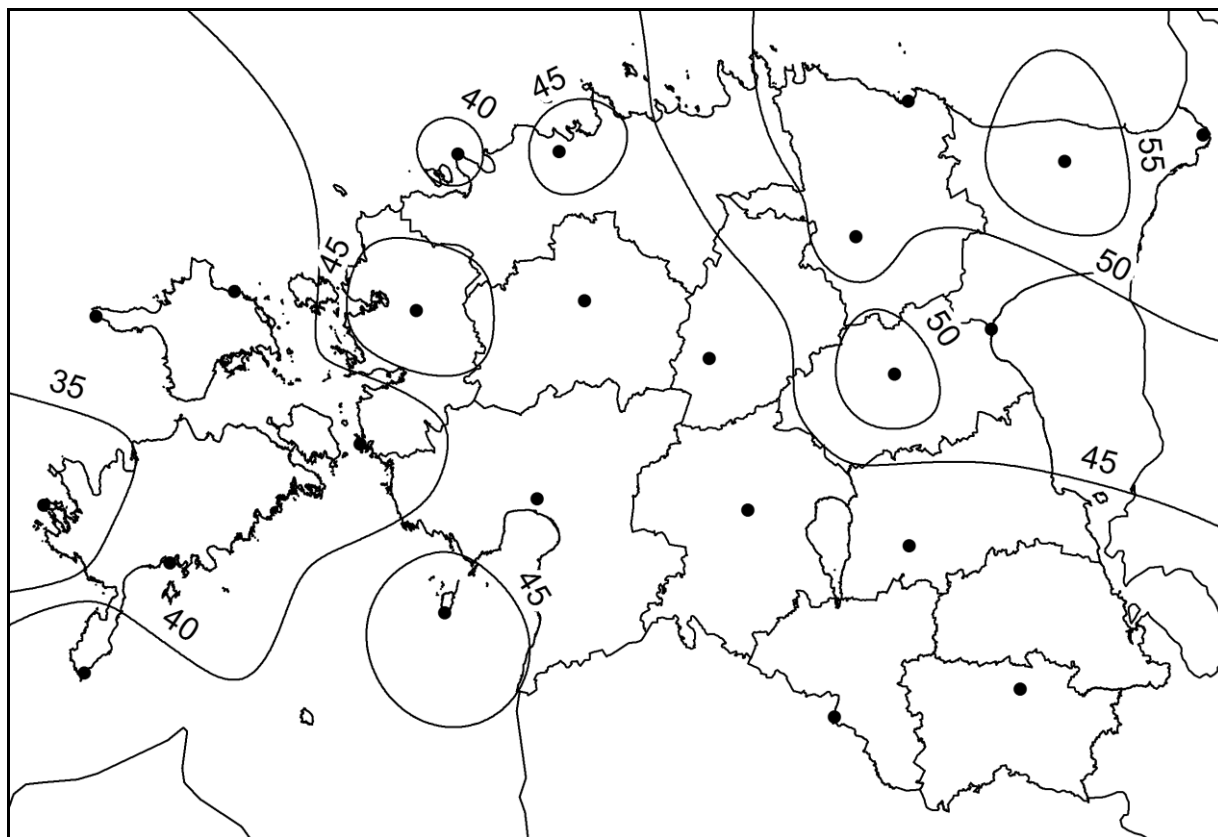
Kolme kevadkuu äikesesademetes osatähtsus kevadkuude sademetes koguhulgast perioodil 1991-2003 jäi vahemikku 5-15%, kusjuures kõrgeim oli see Valga jaamas, madalaim aga Pakril (joonis 5.4).



Joonis 5.4. Kevadkuude (märts-mai) keskmine äikesesademetes osatähtsus kevadkuude sademetes koguhulgast perioodil 1991–2003.

Kolme suvekuu äikesesademetes osatähtsus suvekuude sademetes koguhulgast perioodil 1991-2003 jäi vahemikku 35-55%, kusjuures maksimum paiknes Kirde-Eestis ja miinimum saarte lääneosas (joonis 5.5). Ilmneb, et äikesega sademed moodustavad suve sademetes koguhulgast märkimisväärse osa. Suures osas Mandri-Eestist annavad need ligi poole ning Kirde-Eestis kohati üle poole suve sademetest. Suurim on äikesesademetes osakaal suvel Virumaal ning

Jõgevamaal. Merealadest eristub kõrgema äikesesademetes osatähtsusega Liivi lahe piirkond maksimumiga Kihnu saarel.



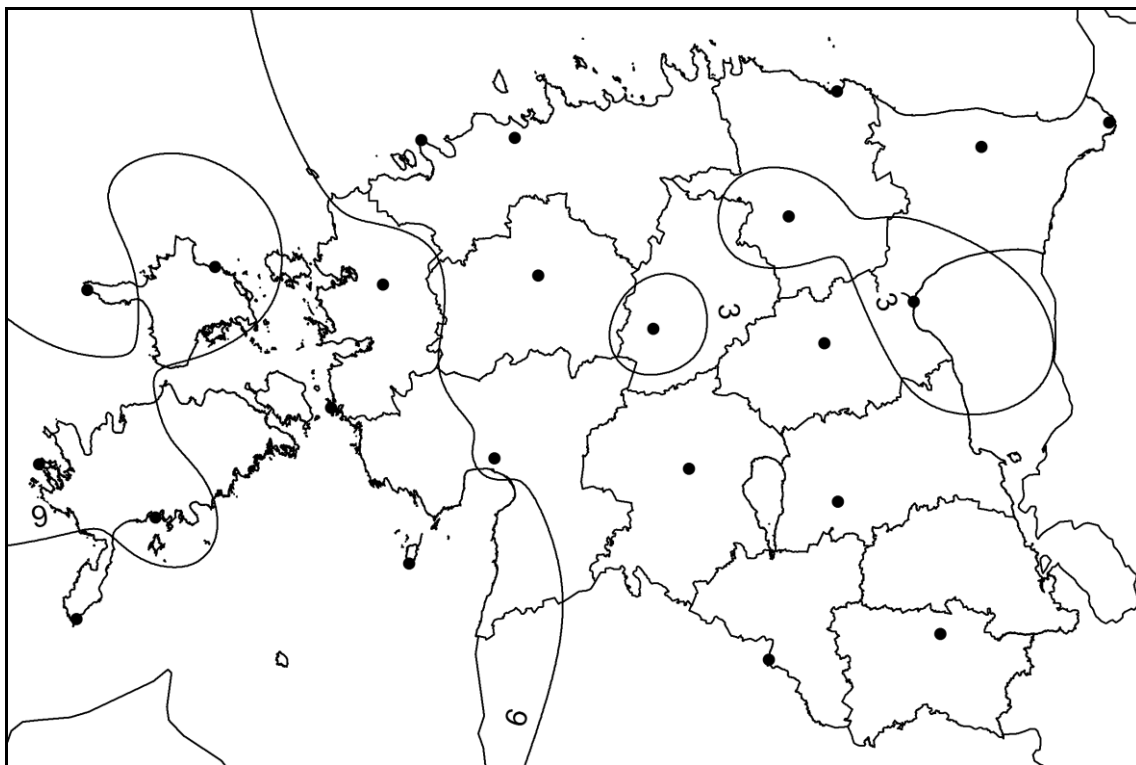
Joonis 5.5. Suvekuude (juuni-august) keskmine äikesesademetes osatähtsus suvekuude sademete koguhulgast perioodil 1991–2003.

Kolme sügiskuu äikesesademetes osatähtsus sügiskuu sademete koguhulgast perioodil 1991–2003 jäi vahemikku 3–9%, kusjuures kõrgeim oli see saartel ja madalaim kohati Kesk- ning Kirde-Eestis Türi, Väike-Maarja ning Tiirikoja jaamade ümbruses (joonis 5.6).

Kolme talvekuu äikesesademetes osatähtsus talvekuude sademete koguhulgast perioodil 1991–2003 oli valdavalt nullilähedane, ühe protsendini küündis see Tõravere ja Jõgeva ilmajaamas (joonis 5.7). Kuna äikest on talvel väga vähe ja juhuslikult, siis ei saa pidada saadud ruumilist jaotust esinduslikuks.

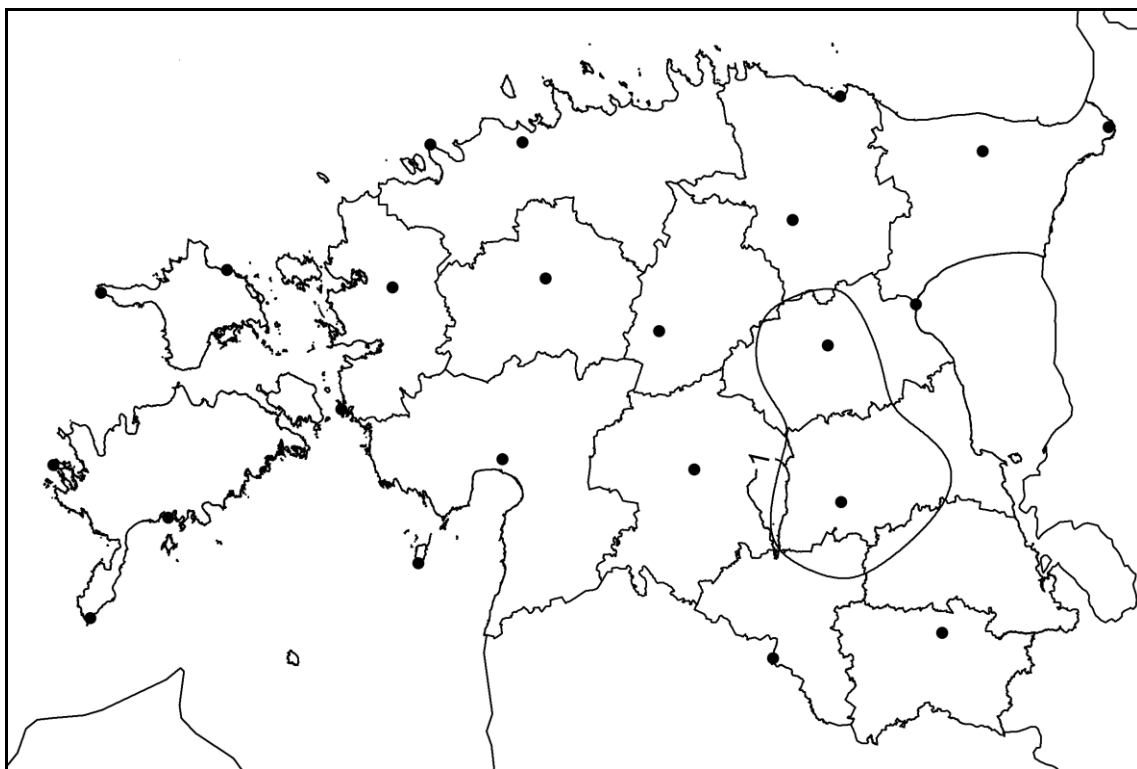
Kui uurida äikesesademetes osatähtsust kuude lõikes (joonis 5.8), siis ilmneb, et kevadel aprillis on äikesega sademeid peamiselt sisemaal, eriti Kagu-Eestis, kus vastav osatähtsus ulatub kümne protsendini. Kirde- ja Lääne-Eestis on see samal ajal alla viie protsendi. Selle põhjuseks on soojade õhumasside ja seega äikese varasem ja sagedasem saabumine kevade alguspoolel sisemaale, eriti Kagu-Eestisse. Mere lähedal on äikest ja konvektiivseid sademeid

tunduvalt vähem mere kui jaheda aluspinna konvektsiooni pidurdava mõju tõttu. Üldiselt püsib äikesesademetes hulga suurenemine loodest kagusse ka mais. Erandina tuleb esile Sõrve jaam, kus see ulatus uuritud perioodil 35%-ni mai sademete koguhulgast. Tegu võib olla juhusliku tulemusega, mis andmerea lühiduse tõttu pole välja taandunud. Ka juunis jääb selge miinimum veel jahedana püsivast merest mõjutatud saarte ning läänerranniku kohale (25-35%), kuid sisemaal on äikesesademetes osatähtsus üsna ühtlane (45-50%).



Joonis 5.6. Sügiskuude (september-november) keskmine äikesesademetes osatähtsus sügiskuude sademete koguhulgast perioodil 1991–2003.

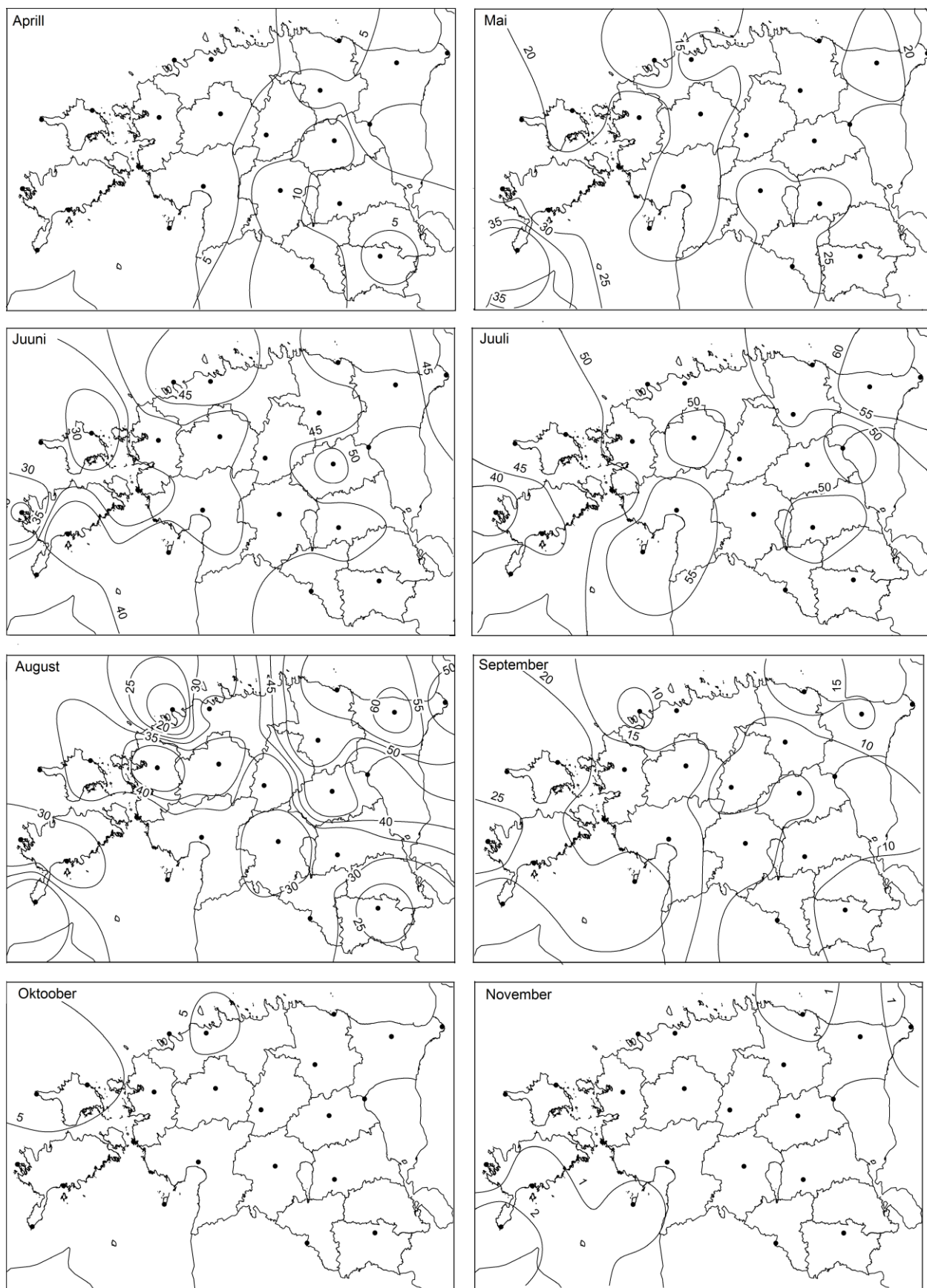
Juulis saavutab äikesepäevade sademete hulk Eestis maksimumi ja selle osatähtsus ulatub Ida-Virumaal üle 60%. Üle poole sademetest on juulis äikesepäevadega seotud peaaegu kogu Mandri-Eestis. Soojenenud vee mõjul on erinevused rannikualade ja sisemaa vahel väikesed, selgem miinimum on vaid Vilsandil. Augustis muutub äikesesademetes osatähtsus üle Eesti väga varieeruvaks. Väiksem on see loodenurgas ja Lõuna-Eestis (20-25%), kõige kõrgem endiselt Kirde-Eestis, eriti Jõhvi ümbruses (kuni 60%). Augustis toimub sageli üleminek kesksuviselt soojemalt ja stabiilsemalt ilmal varasügisesele jahedamale läänetsüklonitega ilmale. Ilmarežiimide kontrastid võivad vähemalt osaliselt seletada äikesesademetes osatähtsuse suurt territoriaalset varieeruvust augustis. Samas tuleb arvestada ka lühikesest analüüsiperioodist tingitud võimalike juhuslike kõrvalekalletega.



Joonis 5.7. Talvekuude (detsember-veebruar) keskmine äikesesademetest osatähtsus talvekuude sademete koguhulgast perioodil 1991–2003.

Sügisel on äikesega kaasnevate sademete kõrgeim saartel. Septembris on vastav näitaja saartel 20-25% ja Mandri-Eestis üsna madal, jäädes vahemikku 10-15%. Oktoobris tuleb saartel, eelkõige Hiiumaal, veel üle 5% sademetest äikesepäevadel. Novembris on suurim äikesesademetest osakaal Sõrves, kus see ulatub 2%-ni. Kõrge äikesesademetest osatähtsuse põhjuseks saartel ja rannikul on mere mõju. Sügiskuudel on meri võrreldes maismaaga soojem aluspind, mis soosib hilise konvektsiooni ja äikese arengut. Sisemaal, eriti Ida-Eestis, on jahtumine sügisel kiire ning jahenev aluspind ei soosi äikese teket.

Üldiselt on äikesesademetest osakaalu aastane käik heas kooskõlas äikesepäevade (Enno, 2007) ja äikesetundide (Alber, 2010) aastase käiguga. Sisemaa jaamades on kevadkuudel nii äikest kui äikesesademeid rohkem, samas sügisel koondub ka äikese maksimum veel suhteliselt sooja mere piirkonda.

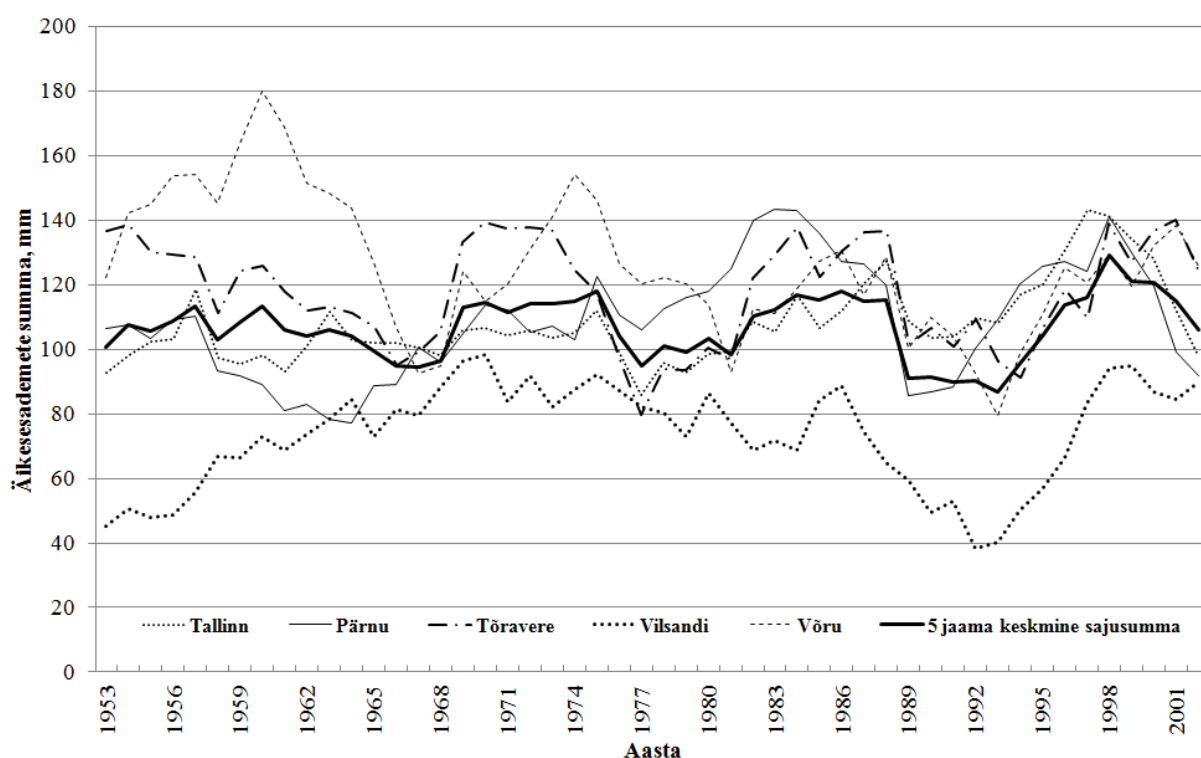


Joonis 5.8. Kuude keskmine äikesesademetes osatähtsus sademete koguhulgast perioodil 1991–2003.

USA-s on leitud, et suvekuudel moodustavad äikesega seotud sademed Kesklaänes kogu sademete hulgast kuni 80%, mis on mõnevõrra enam kui Kirde-Eestis juulis ja augustis. Samas USA läänerannikul jääb vastav näitaja 20-40% piiresse, mis on Eestiga võrreldav (Changnon, 2001). Ka Poolas on leitud, et kõige rohkem sajupäevi äikesega on suvel (Bielec-Bakowska, Lupikasza, 2009).

5.3 Äikesesademetek pikaajaline muutlikkus Eestis 1950–2005

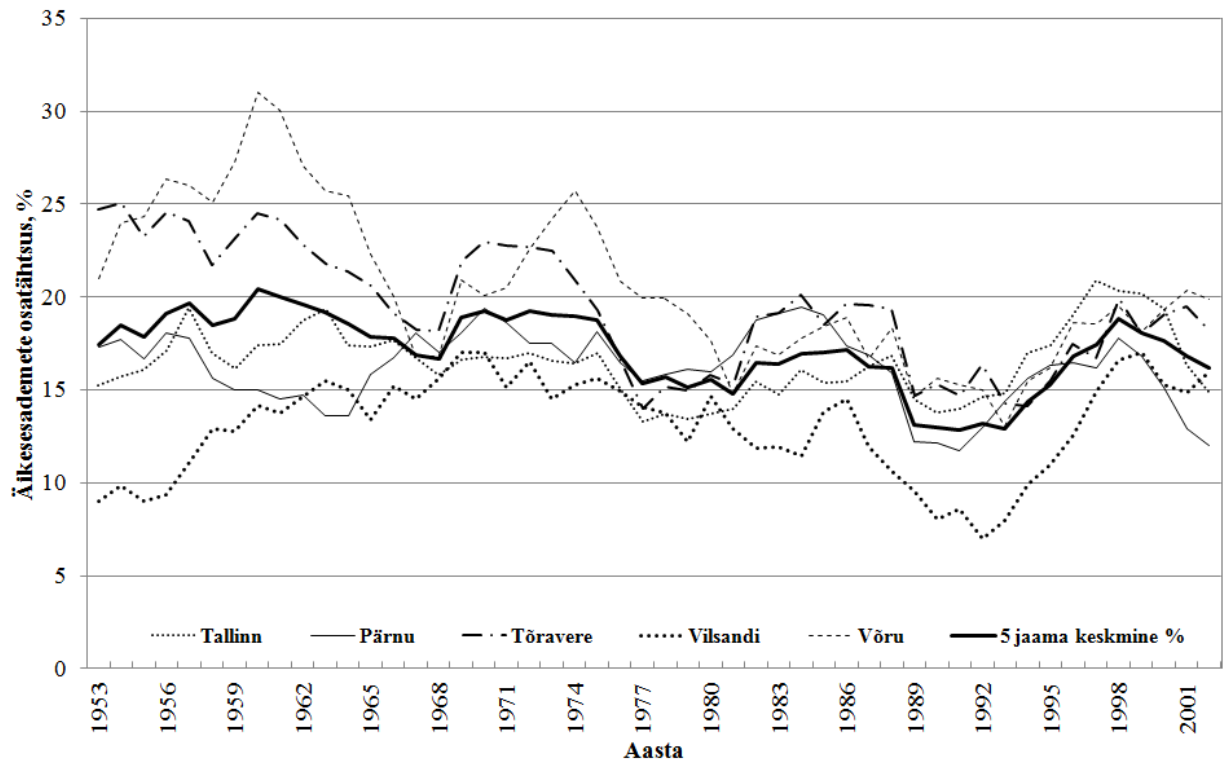
Äikesesademetek aastasummade 7-aastased libisevad keskmised viie kliimajaama andmetel on kujutatud joonisel 5.9.



Joonis 5.9. Äikesesademetek aastasumma 7 a libisev keskmine Eesti kliimajaamades perioodil 1950–2005.

Võib märgata, et mõnede jaamade puhul ilmneb selge tsüklilisus perioodiga 12-13 aastat. Eriti hästi tuleb see esile sisemaa jaamades – Võrus ja Tartus, kusjuures Tartu puhul kõige selgemalt. Maksimumid ilmnevad 1950-ndatel, 1970-ndate alguses, 1980-ndate alguses ja 1990-ndate teisel poolel. Võru puhul on maksimumid võrreldes Tartu omadega veidi nihkes.

Miinimumid jäävad 1960-ndate ja 1970-ndate lõppu ning 1980-ndate lõpu ja 1990-ndate algusesse. Ka Võru ja Tartu miinimumid on omavahel pisut nihkes, kuid üldiselt on nii miinimumid kui maksimumid omavahel suhteliselt heas kooskõlas.



Joonis 5.10. Äikesesademetete osatähtsuse 7 a libisev keskmine Eesti kliimajaamades perioodil 1950–2005

Rannikujaamade (Pärnu ja Tallinn) puhul ei ole tsüklilisus nii hästi jälgitav ning Vilsandi kui kõige merelisema jaama puhul ei ilmne 12-13aastane tsükel üldse. Seega võib järeldada, et mere mõjul perioodilisus nõrgeneb või kaob. See viib oletuseni, et perioodiline võib olla pigem sisemaa kohalike äikesetormide ja nendega seotud sademete esinemine. Samal ajal rannikut ja merd mõjutavad eelkõige frontaalsed äikesed, mille esinemissageduse muutustes nähtavasti selged tsüklid puuduvad.

Sisemaa tsüklilised kõikumised äikesepäevade sademete summades on siiski piisavalt suured, mistõttu tuleb ka 5 jaama keskmise puhul 12-13aastane tsükel selgelt esile. Lineaartrend samal ajal praktiliselt puudub ja usaldusväärseid muutusi perioodi 1950-2005 äikesepäevade sademete aastasummades ei ole.

Ka äikesepäevade sademete osatähtsuse puhul aastast sademete koguhulgast (joonis 5.10) ilmnevad sarnased tsüklid just sisemaal jaamades Tartus ja Võrus. Miinimumid ja

maksimumid langevad üldiselt kokku äikesesademetesummade vastavate miinimumide ja maksimumidega.

Tsüklilisus ilmneb ka 5 jaama keskmises äikesesademetes osatähtsuses. Erinevalt äikesepäevade sademete hulkadest näitab äikesesademetes osatähtsus statistiliselt usaldusväärset langustrendi. Äikesesademetes osatähtsus aasta sademete hulgast on aastatel 1950-2005 vähenenud keskmiselt 4%, $p < 0,05$. Selle põhjuseks võib pidada talve sademete hulga suurenemist (Jaagus, 1992), samal ajal kui suve sademete hulk ja äikesesademetes hulk pole oluliselt muutunud.

Ka Poolas on uuritud äikesesademetes pikaajalist muutlikkust. Selgus, et üldiselt ei ole sademetega äikesepäevade arv Poolas perioodi jooksul statistiliselt oluliselt muutunud (Bielec-Bakowska, Lupikasz, 2009). See on sarnane Eesti uuringu tulemustega, mille järgi pole äikesega kaasnenud sademete koguhulk oluliselt muutunud.

6. Kokkuvõte

Käesolev töö on esimene sademete ja äikese vahelistesi seosteid analüüsiv uurimus Eestis. See põhineb Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) sademete ja äikese andmetel. Perioodi 1991-2003 kohta teostatud sademete ja äikese seoste territoriaalne analüüs hõlmab 23 vaatlusjaama andmeid. Ajavahemiku 1950-2005 kohta läbi viidud sademete ja äikese seoste pikaajalise muutlikkuse analüüs kasutab viie jaama andmeid.

Töö tulemusena leiti, et perioodil 1991-2003 oli aastane äikesepäevade sademete koguhulk keskmiselt 80-160 mm, kusjuures see suurenes läänest ja edelast ida ning kirde poole liikudes, olles maksimaalne Kirde-Eestis ja Jõgevamaal. Aasta keskmine äikesesademetes osatähtsus kogu aasta sajusummast perioodil 1991-2003 oli 14-22%, kusjuures maksimum jäi Kirde-Eesti rannikualadele. Maksimumi põhjustavad tõenäoliselt sisemaa kohal kujunenud äikesepilved, mis lõuna-edelavoolus Kirde-Eestisse kanduvad.

Kevadkuudel (märts - mai) oli äikesesademetes osatähtsus keskmiselt 5-15%, suvekuudel (juuni - august) 35-55%, sügiskuudel (september - november) 3-9% ja talvekuudel (detsember - veebruar) valdavalt nullilähedane. Analüüs kalendrikuude kaupa näitas, et aprillist alates hakkab äikesesademetes hulk suurenema, saavutades maksimumi juulis-augustis, kui see on Kirde-Eestis kuni 60% sademete koguhulgast. Alates augustist hakkab äikesesademetes osatähtsus langema, olles oktoobris mõnel pool rannikualadel ja saartel veel 5% lähedal. Kevadel oli äikesesademeid enam Kagu-Eestis, suvel Kirde-Eestis ning sügisel Lääne-Eestis. Kevadine maksimum sisemaal on seostatav maismaa kiirema soojenemisega, sügisene maksimum rannikualadel aga mere aeglasema jahtumisega.

Äikesesademetes pikaajalise muutlikkuse analüüs perioodil 1950-2005 näitas, et eriti sisemaa jaamades (Tartu ja Võru) tuleb esile 12-13aastane perioodilisus äikesepäevade sademete koguhulgas ja nende osakaalus aasta sademete summast. Mere mõju suurenedes perioodilisus nõrgeneb (Tallinna ja Pärnu jaam) või puudub hoopis (Vilsandi jaam). Äikesepäevade sademete summades muutustrende ei ilmnunud. Ainsaks statistiliselt usaldusväärseks trendiks leiti olevat see, et äikesesademetes osatähtsus aastast sademete hulgast on vähenenud 4%. See on ilmselt seotud tsüklonaalsuse tõusust tingitud talviste sademete osakaalu suurenemisega.

Spatio-temporal distribution and long-term changes of thunderstorm-related precipitation in Estonia, 1950-2005

Jüri Kamenik

Summary

This is the first study of thunderstorm-precipitation relationships in Estonia. The analysis bases on thunderstorm and precipitation data obtained from Estonian Meteorological and Hydrological Institute (EMHI). Between 1991-2003, data from 23 weather stations were used to compile territorial analysis of thunderstorm-precipitation relationships. Between 1950-2005 data from five weather stations were used to discover the long-term trends in thunderstorm-precipitation relationships.

It was found that between 1991-2003, the annual thunderstorm-related precipitation amounts were 80-160 mm. Lowest values were recorded at western islands and highest values appeared in Northeastern Estonia. Thunderstorm-related precipitation gave 14-22% of total annual precipitation, maximum was recorded near the Northeastern coast of Estonia. This maximum is likely caused by thunderstorms that are formed over inland areas, and are then moved toward the Northeastern coast by south-westerly airflow.

The percentage of thunderstorm-related precipitation was 5-15 during the spring months (March to May), 35-55 during the summer months (June to August), 3-9 during the autumn months (September to November), and near-zero during the winter months (December to February). Monthly analysis showed that thunderstorm-related precipitation begins to increase in April, peaks in July and August with up to 60% of total precipitation in Northeastern Estonia. Then it begins to decline, but it is still about 5% in October near the coast regions and at the islands. During spring, more thunderstorm-related precipitation occurred in Southeastern Estonia, during summer in Northeastern Estonia and during autumn in Western Estonia. Springtime maximum is associated with faster warming of inland areas, whereas coastal maximum during autumn is related to slower cooling of sea.

The analysis of variability of the data between 1950-2005 revealed a 12-13 year periodicity in annual amount of thunderstorm-related precipitation. This periodicity is especially obvious at the inland weather stations (Tartu and Võru), but is much weaker at the coastal stations (Tallinn and Pärnu) and is not visible at all at a maritime station Vilsandi. No statistically reliable trends appeared in the annual total amounts of thunderstorm-related precipitation. However, it was found, that the ratio of the annual thunderstorm-related precipitation has decreased by 4%.

Tänuavaldus

Oma töö valmimise, kannatlikkuse ning nõuannete eest avaldan tänu oma juhendajale Sven-Erik Ennole.

Kasutatud allikad

Alber, R., 2010. Äikese ajaline kestus ja sesoonsus ning ööpäevane jaotus Eestis 1963-2008. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool.

Bielec, Z., 2001. Long-term variability of thunderstorms and thunderstorm precipitation occurrence in Cracow, Poland, in the period 1896-1995. *Atmospheric Research* 56, 161-170.

Bielec-Bakowska, Z., Lupikasza, E., 2009. Long-term precipitation variability on thunderstorm days in Poland (1951-2000). *Atmospheric Research* 93, 506-515.

Changnon, S.A., 2001. Thunderstorm rainfall in the conterminous United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 1925-1940.

Chèze, J.-L., Sauvageot, H., 1997. Area-average rainfall and lightning activity. *Journal of Geophysical Research* 102, 1707-1715.

Enno, S.-E., 2007. Äikese sageduse ajalis-ruumiline muutlikkus Eesti territooriumil. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool.

Enno, S.-E., 2009. Välgulöökide ajalis-ruumiline jaotus Eesti piirkonnas 2005-2008 ja NORDLIS andmete võrdlus kliimajaamade vaatlustega. Magistritöö, Tartu Ülikool.

Jaagus, J., 1992. Periodicity of precipitation in Estonia, in: Estonian Geographical Society, Estonia man and nature. Ühiselu, Tallinn, pp. 43-53.

Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E., and Remm, K., 2008. Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors. *International Journal of Climatology* 30, 705-720.

Jaagus, J., Tammets, T., 2007. Äärmuslikult kuivade ja sajaste päevade esinemissageduse territoriaalne jaotus Eestis perioodil 1957-2006, in: Jaagus, J. (Ed), Uurimusi Eesti kliimast. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, pp. 109-116.

Jaagus, J., Tarand, A., 1998. Sademete territoriaalne jaotus Eestis. *Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat* 24, pp. 5-18.

Jürgenson, M., Ross, V., Tooming, H., 1962. Äikesevaatluste juhend, Pärnutrükk, Pärnu.

Jürissaar, M., 1998. Lennuliiklusele ohtlikud meteoroloogilised nähted, in: Liivamägi, J. (Ed.), *Meteoroloogia*. OÜ Greif, Tartu, pp. 132-150.

Petersen, W. A., Rutledge, S. A., 1998. On the relationship between cloud-to ground lightning and convective rainfall. *Journal of Geophysical Research* 103, 14025-14040.

Piepglass, M. V, Krider, E. P., Moore, C. B., 1982. Lightning and surface rainfall during Florida thunderstorms. *Journal of Geophysical Research* 87 (C13), 11193-2001.

Pineda, N., Rigo, T., Bech, J., Soler, X., 2007. Lightning and precipitation relationship in summer thunderstorms: Case studies in the North Western Mediterranean region. *Atmospheric Research* 85, 159-170.

Päädam, K., 2009. Ekstreemsademet ajalis-ruumilisest jaotusest Eestis. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool.

Ross, V., 1970. Äike ja äikesekahjustused, in: Tooming, H. (Ed.), *Inimene ja ilm*. Valgus, Tallinn, pp. 99-110.

Sheridan, S.C., Griffiths, J.F., Orville, R.E., 1997. Warm season cloud-to-ground lightning-precipitation relationships in the South-Central United States. *Weather Forecasting* 12, 449-458.

Soula, S., 2009. Lightning and Precipitation, in: Betz, H.-D., Schumann, U., Laroche, P. (Eds.), *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Springer, Berlin, pp. 447-463.

Soula, S., Chauzy, S., 2001. Some aspects of the correlation between lightning and rain activities in thunderstorms. *Atmospheric Research* 56, 355-373.

Takayabu, Y.N., 2006. Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain. *Geophysical Research Letter* 33, L18705.

Tallinna Hüdrometeoroloogia Observatoorium, 1969. Eesti NSV kliimaatlas, Tallinn.

Tammets, T., 2008. Äike, in: Tammets, T., Kallis, A., (Eds.), *Eesti ilma riskid*. Tallinna Raamatutrükikoda, Tallinn, pp. 21-28.

Zipser, E.J., 1994. Deep cumulonimbus cloud systems in the tropics with and without lightning. *Monthly Weather Review* 122, 1837-1851.

Internetiallikad:

American Meteorological Society (AMS), 2012. AMS Glossary of Meteorology, 15.05.2013. [WWW] <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Thunderstorm>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Jüri Kamenik (sünnikuupäev: 25.08.1988)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Äikesesademetes ajalis-ruumiline jaotus ja pikaajaline muutlikkus Eestis perioodil 1950-2005“, mille juhendaja on Sven-Erik Enno,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **17.05.2013**